



ALEXANDRIA

ALEXANDRIA

Revista de Educação em Ciência e Tecnologia

Habilidades de visualização de estudantes em contexto de Educação Científica Fundamentada em Modelagem

*Students' visualization skills in a Modeling-based Science Education
context*

Leandro Oliveira¹

<https://orcid.org/0000-0002-5597-3438>

Helen Bicalho²

<https://orcid.org/0000-0001-9546-7751>

Rosária Justi³

<https://orcid.org/0000-0001-6535-5046>

1. Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil. E-mail: leandro@unicamp.br

2. Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil. E-mail: helen.cristiane.14@gmail.com

3. Departamento de Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil. E-mail: rjusti@ufmg.br

Resumo: Para aprender Química, estudantes têm que estabelecer conexões entre diferentes níveis de conhecimento químico. Por isso, habilidades de visualização são fundamentais nesse processo, pois podem favorecer a criação de visualizações/representações. Neste estudo, investigamos como estudantes do Ensino Médio, participantes de um curso sobre modelagem, apresentaram evidências do uso de habilidades de visualização para investigar e explicar propriedades de diferentes plásticos. A partir de videogravações dos encontros do curso, selecionamos episódios em que eles manifestaram tais habilidades e as classificamos a partir de categorias a priori e emergentes. Os resultados evidenciam que várias das habilidades analisadas foram manifestadas em todas as etapas da modelagem e relacionando diferentes níveis do conhecimento químico, tanto na produção do modelo quanto na comunicação do mesmo para a turma. A partir dos resultados e conclusões, destacamos a importância de professores de Ciências envolverem estudantes em processos científicos que os favoreçam usar e desenvolver habilidades de visualização.

Palavras-chave: habilidades de visualização, Educação Científica Fundamentada em Modelagem, ensino de Química.

Abstract: In order to learn Chemistry, students have to make connections between different levels of chemical knowledge. Therefore, visualization skills are essential in this process since they can support the creation of visualizations/representations. In this study, we investigated how high school students participating in a modeling course showed evidence of using visualization skills to investigate and explain properties of different plastics. From the whole set of data produced from video recordings of the course meetings, we selected



Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia, Florianópolis, v. 18, p. 1-28, 2025.
Universidade Federal de Santa Catarina. ISSN 1982-5153
DOI <http://doi.org/10.5007/1982-5153.2025.e102619>

episodes in which they manifested such skills and classified them using a priori and emergent categories. The results show that several of the visualization skills analyzed were manifested in all the stages of modeling and related to different levels of chemical knowledge. Based on the results and conclusions, we highlight the importance of science teachers involving students in scientific processes that favor them to use and develop their visualization skills.

Keywords: visualization skills, Modeling-based Science Education, Chemistry teaching.

Introdução

Nas últimas décadas, a demanda por um ensino de Ciências que valorize habilidades relacionadas ao conhecimento *de e sobre* ciências tem orientado várias propostas curriculares. Um dos objetivos desse movimento é apontar caminhos a professores para a promoção de práticas educacionais que contribuam para que estudantes possam ir além da memorização mecânica de fatos, conceitos, equações e procedimentos. Isto requer uma mudança de perspectiva sobre o modo como entendemos a aprendizagem, passando da ideia de que estudantes devem “apenas” “aprender o que” para uma concepção mais ampla de que eles devem “aprender o que” e “aprender como” (Maia, & Justi, 2009). Nesse sentido, professores têm sido incentivados a auxiliar estudantes no desenvolvimento de habilidades de várias naturezas.

No contexto brasileiro, mesmo com suas limitações (apontadas por exemplo, por Deconto, & Ostermann, 2021), a própria Base Nacional Comum Curricular (BNCC) busca enfatizar a importância do desenvolvimento de habilidades por estudantes do Ensino Médio relacionadas ao conhecimento científico, seus contextos de produção e aplicação. O documento enfatiza que é preciso oferecer condições para que eles se envolvam habilmente em atividades que visem: a exploração de situações-problema envolvendo, por exemplo, a melhoria da qualidade de vida e a sustentabilidade; a avaliação de impactos da tecnologia no nosso cotidiano e em setores produtivos; a realização de atividades envolvendo procedimentos de investigação; e a comunicação científica escolar, tal como em atividades de leitura e interpretação de textos (Brasil, 2018). Assim, estudantes devem ser levados a integrar e usar conhecimentos científicos em situações específicas, como ao: selecionarem informações relevantes relativas a um problema em investigação; buscarem compreensões abrangentes e adequadas para processos e fenômenos; e avaliarem como e quando um conhecimento específico deve ser aplicado (Maia, & Justi, 2009).

A nosso ver, esses pontos podem ser vistos como alguns possíveis passos para a tão almejada alfabetização científica, termo que na literatura tem recebido várias definições (Osborne, 2023). Neste artigo, adotamos a definição apresentada por Norris e Phillips (2003) que se refere à capacidade de indivíduos de ler, escrever e comunicar sobre ciências, utilizando conhecimentos científicos e os aplicando em questões relacionadas às ciências com as quais se confrontem em suas vidas.

Concordamos com Osborne (2023) que concepções como essa nos ajudam a romper com uma visão de alfabetização científica que se relaciona com a ideia de que ela é simplesmente facilitadora para ações sobre o mundo e a percebê-la como essencial para a realização de práticas científicas em si, ou seja, para a realização de práticas constitutivas da própria ciência. “Nesse sentido, a alfabetização [científica] é fundamental para a ciência. E, se ela é *fundamental* para a ciência, ela deve ser *fundamental* para o *ensino de ciências*” (Osborne, 2023, p. 788).

Tais ideias dão suporte à nossa convicção de que uma importante estratégia de ensino que pode favorecer a alfabetização científica de estudantes é o envolvimento em atividades que favoreçam o desenvolvimento de suas habilidades, especialmente as de pensamento de ordem superior, isto é, aquelas necessárias para que o indivíduo performe “qualquer atividade cognitiva que vá além do estágio de compreensão e de aplicação em um nível inferior de acordo com a taxonomia de Bloom” (Zohar, 2004, pp. 1-2). Nesse sentido, chamamos atenção para potencialidades da modelagem científica escolar para o fomento da prática e o possível desenvolvimento de habilidades desta natureza.

Gilbert e Justi (2016) definem modelagem como um processo criativo e dinâmico de produção, modificação (talvez seguida de abandono) e uso de modelos nas Ciências, sendo uma das práticas centrais usadas por cientistas no complexo processo cíclico e não linear de construção de conhecimentos científicos. Estes autores salientam que, na modelagem, várias práticas podem ocorrer, tais como produção de representações internas (que, neste artigo, denominamos *visualização*); proposição de hipóteses; observações sistemáticas; testes dessas hipóteses; criação de modelo(s) para (um) fenômeno(s); explicação(ões) desse(s) fenômeno(s); avaliações de sua utilidade, de seu poder preditivo ou de sua adequação explicativa; revisão(ões) do(s) modelo(s); e aplicação dele(s) em novas situações. Para isso, estudantes devem se envolver em atividades que exigem alto grau de envolvimento cognitivo ao favorecerem, por exemplo, a criatividade e

imaginação na produção de modelos mentais¹, raciocínio analógico, representações e visualizações.

Neste artigo, processos de ensino e aprendizagem pautados na modelagem são característicos da perspectiva de ensino denominada Educação Científica Fundamentada em Modelagem (ECFM). Apoiados em Gilbert e Justi (2016), entendemos que a ECFM se relaciona a processos educacionais envolvendo a modelagem nos quais estudantes aprendem ciências e sobre ciências enquanto usam, reformulam ou criam seus próprios modelos. Nesse cenário de ECFM, pesquisadores têm apresentado justificativas recorrentes sobre a importância de favorecer que estudantes criem representações internas e externas. Isto porque os modelos precisam ser elaborados mentalmente e expressos, processos nos quais é fundamental incentivar estudantes a produzir visualizações e, a partir disso, representações ou vice-versa (Chang et al. 2014; Justi, 2006).

Na Química, a modelagem e o uso de modelos são essencialmente importantes porque permitem a visualização de entidades e processos que favorecem a análise de situações cujas explicações são essencialmente abstratas. Para Chiu e colaboradores (2019), nesta área, lidamos constantemente com conceitos que nos levam a transitarmos entre representação de diferentes tipos, sendo uma transição recorrente aquela entre representações bi e tridimensionais de entidades (como molécula, átomos, íons). A transposição de uma representação em outra e a atribuição de significados a elas requer a mobilização de habilidades de visualização.

Na Educação em Química, sobretudo, é amplamente significativo que estudantes sejam hábeis em produzir visualizações, que podem ter um importante papel em sua aprendizagem, visto que podem apoiar a compreensão e o estabelecimento de relacionamentos entre diversos fenômenos (Gilbert, & Justi, 2016). Isto porque relacionamentos exigem visualizações que podem ser de algo muito pequeno ou grande demais para ser visto por completo, ou, ainda, de algo que exija simplificações por ser bastante complexo (Prins et al., 2011). Contudo, ao mesmo tempo, a elaboração e uso de visualizações se apresentam como grandes desafios (Wu, & Shah, 2004; Gilbert, & Justi, 2016), principalmente devido a dificuldades e erros conceituais cometidos por estudantes que podem levá-los a compreensões inadequadas dos significados do que visualizam e de suas

¹ Entendidos pelos referidos autores como aqueles que existem na mente de seus criadores, resultantes de seus raciocínios, ou na de subsequentes usuários, ao interpretarem idiossincraticamente um dado modelo ao qual são apresentados. Modelos mentais, quando expressos em quaisquer formas de representação, passam a ser de domínio público.

respectivas representações. Por exemplo, estudantes tendem a ter dificuldades de criar visualizações (representações internas) de modo a: transitar entre diferentes níveis do conhecimento químico; criar imagens internas dinâmicas de entidades representadas estaticamente na busca, por exemplo, de compreender aspectos interativos e dinâmicos de processos químicos; e transitar entre diferentes aspectos do conhecimento químico, por exemplo de uma equação química ao processo por ela representado (Wu, & Shan, 2004).

No Ensino de Química, uma importante função de modelos é facilitar que estudantes criem visualizações de entidades, processos e fenômenos (Prins et al., 2011; Gilbert, & Justi, 2016). Para Gilbert e Justi (2016) e Lazenby et al. (2020), um único fenômeno pode ser compreendido, explicado, visualizado ou representado sob diferentes perspectivas, vistas as finalidades para as quais eles são usados/construídos. Upmeier zu Belzen e colaboradores (2019) compartilham dessas ideias quando consideram que ninguém pode afirmar que existe apenas um modelo válido para uma dada entidade, uma vez que modelos são influenciados pelo foco teórico usado como estruturante e guia, ocasionando na limitação de seus significados e de sua compreensão. Por isso, em contextos de ECFM, estudantes necessariamente devem fazer uso de habilidades de visualização em várias etapas do processo de produção de modelos e de sua comunicação. Afinal, todos os modelos são criados primeiramente na mente dos indivíduos que, simultaneamente, precisam pensar em como eles podem ser expressos (Gilbert, & Justi, 2016).

Referencial Teórico

Modelos e Modelagem

Modelos são um dos principais produtos das ciências por serem recursos que ajudam cientistas a elaborar processos mentais sofisticados que envolvem, por exemplo imaginação, raciocínio e criatividade, uma vez que, inherentemente, possuem *status* individual de ferramentas de pensamento (Knuutila, 2005). Por isso, modelos podem operar não apenas como ferramentas e geradores de inferências, mas também como objetos de investigação em práticas científicas (Knuutila, 2005), adquirindo importância em processos de produção, comunicação, validação e legitimação de conhecimentos (Gilbert, & Justi, 2016). Ainda segundo estes autores, o processo de produção de modelos – *modelagem* – pode ser compreendido em

termos das seguintes etapas fundamentais, que são dinâmicas e, na maioria das vezes, ocorrem simultaneamente:

- *Criação* de um proto-modelo: etapa motivada pela definição dos objetivos do modelo a ser elaborado ou pela compreensão do mesmo, o que guia a obtenção de informações sobre a entidade a ser modelada e a seleção de uma base (geralmente analógica ou matemática) para estabelecer os raciocínios necessários;
- *Expressão*: etapa na qual devem ser selecionados os modos de representação para expressão de um modelo. Simultaneamente ou imediatamente após a seleção de um ou mais modos de representação, são definidos códigos de representação e significados de cada detalhe utilizado para materializar o modelo;
- *Teste*: etapa necessária para se verificar a adequação do modelo aos objetivos para os quais ele foi elaborado, podendo ser de natureza empírica e/ou mental, dependendo, principalmente, da natureza da entidade modelada e dos recursos disponíveis. A partir dos resultados dos testes, um modelo pode ser reformulado, ou mesmo abandonado; e
- *Avaliação*: etapa na qual é verificado o nível de abrangência e as limitações do modelo elaborado, o que é feito a partir da tentativa de sua utilização em contextos diferentes daquele em que ele foi elaborado.

Segundo Gilbert e Justi (2016), para que cada etapa seja realizada na modelagem, são necessárias diversas habilidades cognitivas, tais como as relacionadas a: criatividade, imaginação, experimentação mental, raciocínio analógico e visualização. Neste artigo, nosso foco principal são as habilidades de visualização.

Habilidades de Visualização e a Modelagem

Quando compreendemos os significados e as relações entre os principais aspectos do conhecimento químico – macroscópico, submicroscópico e simbólico (Johnstone, 1993) – nos tornamos mais convictos da importância da visualização na Química e em seu ensino. Ao mesmo tempo, visualizar, isto é, criar imagens na mente, contribui para compreendermos tais significados e relações. Por exemplo, Gilbert et al. (1998) afirmam que gerar visualizações de entidades abstratas da matéria (nível submicroscópico) pode auxiliar na compreensão do comportamento dos materiais (nível macroscópico). Chiu e colaboradores (2019) destacam que

quando modelos são usados para dar sentidos a fenômenos científicos (no nível simbólico), a combinação de conceitos-alvo com objetos de origem proporcionados por visualizações pode facilitar o aprendizado de estruturas abstratas e complexas de elementos e compostos químicos (nível submicroscópico). Por sua vez, Gilbert e Justi (2016) consideram que modelos (no nível simbólico) de partículas atômicas (nível submicroscópico) podem servir para simplificar um fenômeno (nível macroscópico) e torná-lo explícito para observação e exploração.

Parece consenso entre pesquisadores que investigam a modelagem que habilidades cognitivas como imaginação, criatividade e visualização são essencialmente importantes nesse processo (Nersessian, 2008; Gilbert, & Justi, 2016; Cheng, & Gilbert, 2017; Kokkonen, 2017; Cheng, 2018; Chiu et al., 2019; Schwartz, 2019). Kokkonen (2017), por exemplo, enfatiza que tais habilidades influenciam principalmente no raciocínio científico, uma vez que este envolve pensamentos que muitas vezes são configurados por um conjunto de ações, tais como produção de modelos mentais, analogias e representações.

Neste contexto, emerge a necessidade de estabelecer relações entre domínios interno e externo (Bodner, & Domin, 2000; Chiu et al., 2019; Gilbert, & Justi, 2016; Wu, & Shan, 2004), isto é, reconhecer que *representações internas* são informações construídas e armazenadas na mente e *representações externas* constituem a manifestação dessas informações no mundo físico (Bodner, & Domin, 2000). Ainda nesse sentido, Thomas (2014) explica que visualizar é uma experiência que pode ocorrer na ausência de estímulos externos. Por sua vez, van Joolingen et al. (2019) consideram que visualizar é uma habilidade relacionada ao pensamento científico, necessária para vincular evidências empíricas a considerações teóricas. Assim, pela característica cíclica, não linear e não pré-determinada da modelagem (Gilbert, & Justi, 2016), entendemos que em tal processo várias visualizações podem ser produzidas pelos indivíduos e que elas podem ter objetivos de distintas naturezas (por exemplo, visualizar criativamente um sistema ou a dinamicidade de uma reação química). Além disso, “por meio de um processo criativo, é possível que visualizações sejam reformuladas para formar uma nova visualização que, por sua vez, pode originar uma nova representação” (Bicalho, Oliveira, & Justi, 2022).

Segundo Gilbert e Justi (2016), não há consenso sobre definições relacionadas a dimensões da visualização. Contudo, pautados em Hegarty e Waller (2005), eles enfatizam que duas delas têm bastante relevância no processo de modelagem: (i) *visualização espacial*, que se refere à capacidade de manipular, girar, ou inverter objetos sem referência a eles mesmos; e (ii) *orientação espacial*,

isto é, a compreensão do arranjo de elementos em um padrão de estímulo visual. Para Schwartz, (2019), compreender a visualização nos ajuda a compreender finalidades epistêmicas dos modelos, uma vez que isto pode favorecer a produção de explicação ou organização de observações; simplificação de fenômenos complexos; visualização de conceitos abstratos; e fornecimento de estruturas para orientar investigações. Portanto, tais finalidades epistêmicas, aliadas às práticas científicas de explicar, prever, simplificar, testar e mostrar relações no desenvolvimento do conhecimento científico, podem nos ajudar a compreender melhor as ciências e sobre as ciências.

Em contextos educacionais relacionados à ECFM, Gilbert e Justi (2016) apontam algumas potencialidades da modelagem para o desenvolvimento de habilidades de visualização de estudantes. Sob nosso ponto de vista, as mais importantes são as relacionadas: (i) à natureza da experimentação mental, visto que estudantes precisam imaginar um mundo possível, examinar resultados e as implicações da situação de modo a apoiar ou enfraquecer respostas adquiridas em testes; (ii) ao papel da visualização na experimentação mental, porque para criar uma visualização, estudantes fazem uso de vários componentes imaginários e, em experimentos mentais, eles precisam imaginar, projetar e conduzir (mentalmente) um experimento visualizado; e (iii) ao desenvolvimento mútuo das habilidades de visualização e de modelagem, visto que, por exemplo, estudantes encontram mais oportunidades de adquirir habilidades de visualização quando produzem modelos e escolhem modos apropriados de representá-los.

Poucos estudos na literatura em Educação em Ciências buscaram investigar habilidades de visualização de estudantes em contextos de ensino na ECFM. Em um deles, conduzido em um contexto de ECFM, Maia e Justi (2009) investigaram como visualizações geradas por estudantes de Química do Ensino Médio contribuíam para a aprendizagem do conteúdo Equilíbrio Químico, com foco em como eles expressaram aspectos das visualizações que produziam em atividades de modelagem. Desde o início das atividades, os estudantes evidenciaram pensamentos sobre como seus modelos deveriam ser expressos; como eles relacionariam diferentes níveis do conhecimento químico nesse processo; quais características de cada representação que pretendiam usar poderiam auxiliar na explicação que desejavam produzir com os modelos; e como seus modelos poderiam ser usados para explicar o comportamento de sistemas em questão. Em outro trabalho produzido com dados oriundos do mesmo grupo de estudantes, Justi, Gilbert e Ferreira (2009) buscaram compreender como eles utilizavam habilidades

de visualização ao transitarem entre os níveis do conhecimento químico. Como alguns resultados, os autores apontam que: (i) processos mentais (como a visualização) geralmente precediam a expressão dos modelos que os estudantes produziram; (ii) a elaboração de modelos mentais era uma preocupação constante deles; (iii) muitas ideias eram discutidas e pouco expressas no caderno (o que indica que eles se pautavam nos modelos mentais que estavam visualizando); (iv) os estudantes discutiam constantemente adequações dos modelos mentais aos modelos expressos; (v) diferentes componentes de vários níveis de representação foram introduzidos em seus modelos para justificar mudanças ocorrendo no nível macroscópico e explicados no nível submicroscópico; e (vi) seus resultados nas avaliações pós atividades foram considerados acima da média. Além disso, outros pesquisadores destacaram que estudantes envolvidos em atividades de modelagem: (i) apresentam maior sofisticação de suas habilidades de visualização do que estudantes que não se envolvem nelas (Cheng, & Gilbert, 2017; Cheng, 2018); e (ii) apresentam raciocínios mais sofisticados do que os que não se envolvem nesses processos (Cheng, 2018).

A partir de uma análise da literatura disponível até a época, assim como de suas experiências na condução de pesquisas no tema, Gilbert e Justi (2016) sistematizaram teoricamente as principais habilidades de visualização que podem ser mobilizadas por indivíduos ao participarem de atividades de modelagem. Tais habilidades são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1

Habilidades de visualização previstas para serem mobilizadas em atividades de modelagem

Identificação	Habilidade
1	Identificar o que se sabe sobre o fenômeno/a entidade a ser visualizado(a).
2	Relacionar os usos da visualização com o que é conhecido sobre o fenômeno/a entidade.
3	Conhecer os códigos de representação para os modos e submodos de representação.
4	Identificar uma visualização existente que se pareça com a que deve ser elaborada.
5	Estabelecer uma analogia entre uma visualização existente e a que está sendo elaborada.
6	Selecionar um modo ou submodo de representação para expressar a visualização.
7	Aplicar o modo ou submodo de representação ao fenômeno/à entidade a ser visualizado(a).
8	Executar um experimento mental incluindo a visualização.
9	Estabelecer relações entre os comportamentos da visualização e os do(a) fenômeno/entidade em estudo.

-
- | | |
|----|--|
| 10 | Identificar as limitações da visualização em relação ao comportamento do(a) fenômeno/entidade em estudo. |
| 11 | Relacionar a visualização elaborada às visualizações para todos os três níveis de representação de um(a) mesmo(a) fenômeno/entidade. |
| 12 | Convencer outros da validade da visualização. |
-

Fonte: Adaptada de Gilbert e Justi, 2016.

Questões de Pesquisa

A partir do que foi apresentado até então, evidenciamos a relevância de visualizações em atividades de ensino investigativas pautadas na modelagem, assim como a baixa frequência de estudos nesta área realizados no Brasil (como evidenciado pelo fato de a maioria absoluta de referências citadas até então ser de autores estrangeiros). Por isso, neste artigo, visamos contribuir para uma melhor compreensão relacionada a habilidades de visualização de estudantes brasileiros em contexto de ECFM e para fomentar discussões entre professores e futuros professores interessados nesta temática. Para tanto, investigamos as seguintes questões de pesquisa:

- Quais habilidades de visualização são observadas quando estudantes vivenciam etapas da modelagem em um contexto de ensino de Química?
- Em que medida tais habilidades coincidem com as previstas teoricamente na literatura?
- Existem relações entre a manifestação de habilidades de visualização e as etapas da modelagem vivenciadas pelos estudantes? Em caso afirmativo, quais são elas?

Aspectos Metodológicos

Os dados que subsidiaram a discussão das questões de pesquisa propostas foram gerados no contexto de um curso extraclasse do qual participaram voluntariamente 13 estudantes de 16-18 anos, originalmente alunos do terceiro ano do Ensino Médio de escolas públicas de uma cidade do Sudeste brasileiro. O curso ocorreu em seis encontros de aproximadamente 3 horas cada, nos quais uma professora de Química, com larga experiência na ECFM, aplicou três conjuntos de atividades de modelagem. Um desses conjuntos tem como objetivo favorecer a aprendizagem do tema plásticos a partir da elaboração de modelos que expliquem estruturas, comportamentos e propriedades de diferentes tipos de plásticos frente a alguns

experimentos. Suas atividades estão brevemente descritas na tabela 2.

Os encontros foram gravados em áudio (via um gravador em cada grupo) e vídeo (a partir de duas câmeras, sendo uma posicionada para registrar todas as ações da professora e registros na lousa e outra para registrar os grupos de estudantes). Assim, registramos todo o discurso verbal proferido e as ações comportamentais da professora e dos estudantes. Também registramos com as câmeras os modelos bi e tridimensionais produzidos pelos estudantes. Todos os registros possibilitaram produzir, identificar e selecionar os dados necessários à discussão das presentes questões de pesquisa.

Neste artigo, nos pautamos nos dados oriundos de um dos grupos de estudantes, constituído por cinco integrantes, selecionado por ter sido aquele que teve frequência mais regular nos encontros e grande engajamento nas discussões. Para tal grupo, produzimos microanálises (Wertsch, 1985), inicialmente a partir da transcrição de todas as interações verbais entre os estudantes do grupo e deles com a professora. Visando enriquecer o caso, ao texto da transcrição, adicionamos fotos dos modelos bi e tridimensionais produzidos pelos estudantes, assim como *prints* do vídeo que evidenciavam gestos utilizados para dar suporte a explicações de suas ideias e descrições desses gestos.

Tabela 2

Caracterização das atividades de modelagem vivenciadas pelos estudantes e analisadas neste estudo

Atividade	Caracterização
1	Fazer previsões sobre o comportamento de pedaços de sacola plástica e de carcaça de TV antes de tentar dobrá-los e explicar as previsões. Logo após, fazer os testes e explicar o comportamento observado. Considerando as observações referentes ao comportamento dos materiais, feitas na Atividade 1, elaborar modelos que expliquem, no nível submicroscópico, seus comportamentos antes e após a tentativa de dobrá-los.
2	Explicar o máximo de detalhes o possível dos modelos expressos (inclusive justificando os materiais utilizados) e de seus processos de elaboração. Convencer os colegas de que os modelos elaborados explicam as observações feitas.
3	Usando os modelos elaborados na Atividade 2, prever o comportamento dos materiais frente a um experimento hipotético de aquecimento desses materiais e justificar se os modelos explicam as previsões. Na sequência, os estudantes devem assistir a um vídeo no qual o aquecimento dos dois materiais é realizado e discutir se seus modelos sustentam explicações das observações feitas. Em caso negativo, eles devem reformular seus modelos com este objetivo.
4	Fazer previsões em relação ao comportamento de um pedaço de pneu nas situações de tentativa de dobrá-lo e de aquecê-lo. Depois, tentar dobrar o pedaço de pneu, assistir o vídeo que apresenta o aquecimento deste material e anotar as observações. Discutir a abrangência e possíveis limitações do modelo

Em seguida, conduzimos um estudo exploratório no qual buscamos identificar se e quando os estudantes manifestaram as habilidades listadas na tabela 1. Tal lista foi utilizada como um sistema de categorias a priori em função de sua amplitude e coerência com o referencial teórico para ECFM adotado neste estudo. Simultaneamente, percebemos a necessidade de modificar tal lista de forma que pudéssemos contemplar todos os dados obtidos, uma vez que novas categorias emergiram nos dados.

O processo de análise foi feito por cada autor independentemente para uma parte dos dados e tanto os resultados quanto possíveis necessidades de alterações nas categorias de análise foram discutidas. Após atingirmos consenso, cada autor analisou todo o conjunto de dados, novamente de forma independente, processo ao qual se seguiram novas discussões visando garantir maior confiabilidade e validade da análise (Saldaña, 2015). Tal dinâmica de análise, segundo Erickson é coerente com o “fazer pesquisa qualitativa” visto que é necessário prestar bastante atenção aos fenômenos investigados e refletir deliberadamente sobre o que observamos, ou seja, considerando que “revisitar é buscar e buscar novamente, recursivamente” (Erickson, 2012, p. 1454). Assim, obtivemos elementos para discutir as duas primeiras questões de pesquisa que orientam este estudo.

Visando discutir a terceira questão de pesquisa, quanto da identificação da manifestação de cada habilidade de visualização, identificamos também a(s) etapa(s) da modelagem que estavam sendo vivenciadas no momento. Considerando a dinamicidade do processo de modelagem, associamos duas ou mais etapas à maioria absoluta dos momentos vivenciados pelos estudantes. Esses resultados foram analisados à luz da literatura sobre ECFM e visualização na Educação em Ciências mencionada previamente neste artigo, favorecendo a ampliação de conhecimentos na interface entre tais temáticas.

Finalmente, informamos que o estudo aqui relatado faz parte de um projeto de pesquisa amplo, cujos aspectos éticos foram aprovados pelo parecer CAAE 66805717.8.0000.5149. Assim, todos os participantes (professora e estudantes (assim como seus responsáveis)) assinaram os devidos documentos (termos de consentimento e assentimento, respectivamente) autorizando a coleta e utilização dos dados para fins de pesquisa.

Resultados

Como explicitado anteriormente, durante o processo de identificar se e quando os estudantes manifestaram as habilidades listadas na tabela 1, percebemos a necessidade de modificar tal lista visando tanto incluir habilidades não previstas teoricamente, mas manifestadas pelos estudantes (H9 e H14) quanto modificar a redação da caracterização de uma habilidade de forma a torná-la mais compreensível e descriptiva do que realmente foi manifestado por eles (H5, H8, H11 e H12). Então, como primeiro resultado deste estudo, apresentamos, na tabela 3, a lista das habilidades que foram efetivamente utilizadas como categorias de análise.

Tabela 3

Habilidades de visualização mobilizadas pelos estudantes ao participarem das atividades de modelagem

Código	Habilidade
H1	Identificar o que se sabe sobre o fenômeno ou a entidade a ser visualizado(a).
H2	Relacionar os usos da visualização com o que é conhecido sobre o fenômeno ou a entidade.
H3	Conhecer os códigos de representação para os modos e submodos de representação.
H4	Identificar uma visualização existente que se pareça com a que deve ser elaborada.
H5	Elaborar metáforas e analogias entre os domínios comparados.
H6	Selecionar um modo ou submodo de representação para expressar a visualização.
H7	Aplicar o modo ou submodo de representação ao fenômeno ou à entidade a ser visualizado(a).
H8	Executar um experimento mental incluindo a visualização ou em seu processo de elaboração.
H9	Discutir entidades e relacionamentos entre elas na visualização.
H10	Estabelecer relações entre os comportamentos da visualização e os do fenômeno ou da entidade em estudo.
H11	Identificar as limitações da visualização em relação ao comportamento do fenômeno ou da entidade em estudo ou aos modos de representação escolhidos.
H12	Relacionar alguns dos três níveis de representação de um mesmo fenômeno ou entidade à visualização elaborada.
H13	Convencer outros da validade da visualização.
H14	Integrar diferentes modos de representação na comunicação da visualização.

Na sequência, apresentamos um exemplo da manifestação de cada uma das habilidades, acompanhado de análise desta manifestação principalmente em relação a: (i) a necessidade de reformulação ou elaboração daquela categoria; e/ou (ii)

aspectos relevantes do contexto de manifestação da habilidade (o que também contribui para a discussão de nossa terceira questão de pesquisa).

H1 (identificar o que se sabe sobre o fenômeno ou a entidade a ser visualizado(a)) foi manifestada em momentos nos quais os estudantes precisaram fazer testes mentais sobre o comportamento dos materiais em estudo nas ações de dobrar e aquecer. Entendemos que tal padrão ocorreu porque eles precisavam pensar no que conheciam sobre aqueles materiais (comportamentos variados, textura, composição etc.) para conseguirem criar modelos sobre o comportamento deles frente aos testes. Isto foi observado, por exemplo, quando a professora solicitou que os estudantes tentassem criar uma explicação que englobasse o comportamento da carcaça de TV e da sacola plástica na tentativa de dobrá-los. Eles pensaram em características específicas de cada material: “*Esse aqui é duro (...) a gente pode colocar os carbonos mais pertinho, quanto mais perto estiver, mais rígido vai ser (...) quanto mais afastado mais maleável.*”

Assim como H1, H2 (relacionar os usos da visualização com o que é conhecido sobre o fenômeno ou a entidade) foi identificada em momentos em que os estudantes precisavam pensar no que conheciam sobre os materiais em estudo ou no comportamento deles no teste de aquecimento para conseguir criar hipóteses e modelos que explicassem as observações feitas. Por isso, sua manifestação também se associou a etapas de criação e teste de modelos. Por exemplo, depois de assistirem o experimento de aquecimento dos materiais, eles perceberam que o modelo não explicava o comportamento do pedaço de carcaça de TV (pois ela se manteve intacta). Por isso, eles propuseram um novo modelo no qual a cadeia carbônica com ramificação (que eles atribuíam à sacola) teria menos interações e, assim, fundiria enquanto a cadeia carbônica linear (proposta para constituir a carcaça de TV) teria mais interações e, portanto, não fundiria. A professora questionou o que interferia na disposição das moléculas nas macromoléculas, obtendo como resposta: “*porque uma vai estar mais resistente e a outra não. A que está ramificada vai ser mais frágil, vai ser mais aberta. Então, as interações vão ser mais fracas. Ali, elas vão estar lineares, organizadas, vai ser mais difícil quebrar as interações entre as macromoléculas.*”

A habilidade de conhecer os códigos de representação para os modos e submodos de representação (H3) foi identificada em vários momentos em que os estudantes precisavam expressar seus modelos de alguma forma (construindo um modelo físico, testando tal modelo ou explicando-o a partir de gestos ou usando a fala). Em todos os casos, a alternância entre um e outro modo foi espontânea e,

sempre que julgavam necessário ou quando solicitados, eles foram capazes de explicar o significado dos códigos de representação utilizados. Por exemplo, no submodo concreto, os estudantes utilizaram bolas de isopor e massinhas de modelar de tamanhos e cores diferentes para representar os átomos de carbono e hidrogênio das macromoléculas – o que está associado ao modo baseado no toque. Eles também utilizaram gestos (de vários submodos) quando fizeram inferências na explicação do modelo. Isso também está associado ao modo baseado no toque. Ao expressar verbalmente suas ideias de forma clara, eles demonstraram conhecer o papel do modo verbal.

Identificar uma visualização existente que se pareça com a que deve ser elaborada (H4) foi mobilizada em momentos nos quais os estudantes precisavam resgatar conhecimentos científicos aprendidos anteriormente para expressar um modelo (partes de uma macromolécula composta por carbonos e hidrogênios) de forma adequada. Isto também ocorreu visando fundamentar a criação de um modelo após a observação de evidências experimentais. H4 foi identificada, por exemplo, durante a construção do modelo usando bolas e palitos, os estudantes pensaram nas estruturas de hidrocarbonetos que eles estudaram nas aulas de Química e as utilizaram como base para a construção das estruturas das macromoléculas.

No caso de H5 (elaborar metáforas e analogias entre os domínios comparados), os estudantes elaboraram uma analogia entre um mesmo fenômeno, mas envolvendo materiais completamente diferentes (água, sacola e carcaça de TV) pensando no comportamento das moléculas das substâncias frente a ação de aquecer. Assim, ao compararem o afastamento das moléculas de água que ocorre no processo de mudança de estado físico desta substância com o afastamento das moléculas durante o aquecimento da sacola plástica e da carcaça de TV, eles conseguiram explicar as observações do teste de aquecimento e criar um novo modelo para a estrutura dos materiais.

H6 (selecionar um modo ou submodo de representação para expressar a visualização) foi manifestada em todas as etapas da modelagem. Em todos os casos, isto ocorreu praticamente sem interferência da professora, por exemplo, quando estudantes escolheram o modo baseado no toque, utilizando objetos concretos nas etapas de criação, teste e expressão. No submodo concreto, escolheram representar a visualização através de analogias. Eles também escolheram o modo baseado na visão, e o submodo visualizações estáticas (desenhos) em todas as etapas da modelagem, pois, independente de terem construído modelos concretos, sempre desenharam os modelos das

macromoléculas da sacola plástica, carcaça de TV e pneu interagindo com seus pares. Finalmente, ao tentar convencer os colegas da validade de seus modelos, eles usaram o modo baseado no toque (gestos de todos os tipos) associados a expressões verbais claras de suas ideias.

Por sua vez, aplicar o modo ou submodo de representação ao fenômeno ou à entidade a ser visualizado(a) (H7) foi manifestada em momentos nos quais os estudantes precisaram escolher o submodo de representação mais adequado para expressar a ideia que queriam externalizar. Por isso utilizaram o modelo bola-palito e desenhos para representar as estruturas moleculares da carcaça de TV e da sacola plástica, isto é, escolheram o modo concreto para expressar os primeiros modelos das estruturas moleculares dos materiais em estudo, enquanto última atividade, para representar o modelo do pneu, eles utilizaram desenhos que mostravam que as macromoléculas interagiam com um elemento denominado por eles de “X”. Tal opção, foi justificada pela possibilidade, percebida por eles, de o desenho por favorecer uma melhor visualização do processo.

Ao pensarem na rigidez da carcaça de TV e na flexibilidade da sacola plástica, os estudantes estabeleceram uma relação entre essas características e a proximidade dos átomos de carbono e hidrogênio na molécula: “*como a carcaça é rígida, os átomos de carbonos e hidrogênios devem estar próximos uns dos outros; já na sacola os átomos devem estar mais distantes, pois ela é flexível*”. Ao refletirem melhor sobre a disposição dos átomos, eles constataram que, por serem os mesmos átomos e os mesmos tipos de ligação, os átomos não estariam dispostos com proximidades diferentes, isto é, o modelo anterior falhava. Então, eles pensaram que algum átomo diferente de carbono e hidrogênio poderia estar presente na macromolécula, atribuindo-lhe a característica da rigidez. Porém, não chegaram a nenhuma conclusão quanto a qual átomo poderia ser. Continuando a analisar a relação entre a estrutura e os comportamentos dos materiais, no final, eles propuseram tais comportamentos poderiam ser explicados pela quantidade de átomos presentes nas macromoléculas e não pela disposição dos átomos. Como neste exemplo, H8 (executar um experimento mental incluindo a visualização ou em seu processo de elaboração) foi manifestada em momentos em que os estudantes precisavam explicar diferentes comportamentos dos materiais em estudo. Especificamente ao criarem, testarem e expressarem seus modelos, eles executaram experimentos mentais visualizando como as ações impactariam seus modelos. Isto resultou em constantes reformulações e/ou abandono de modelos e criação de novos.

Ao serem questionados sobre seus modelos ou sobre modificações propostas neles, os estudantes relacionaram principalmente disposição de átomos em macromoléculas e força de interação entre macromoléculas com os comportamentos dos materiais. Assim, eles manifestaram H9 (discutir entidades e relacionamentos entre elas na visualização), por exemplo, quando a professora questionou o que interferia na disposição das moléculas na estrutura das macromoléculas considerando que uma teria ramificação e a outra não. Os estudantes responderam que seria “*porque uma vai estar mais resistente e a outra não. A que está ramificada vai ser mais frágil, vai ser mais aberta. Então, as interações vão ser mais fracas. Ali, elas vão estar lineares, organizadas, vai ser mais difícil quebrar as interações entre as macromoléculas*”. Ainda considerando o fator ramificação, eles concluíram que a estrutura não ramificada ocuparia mais espaço, deixando o material mais flexível e que o contrário valeria para a ramificada. Usando as representações concretas, eles explicaram: “*As macromoléculas estariam mais juntas. Mas por quê? A gente pensou que essa aqui seria uma cadeia ramificada. Por ela ser ramificada, os átomos estariam um pouco mais aproximados e como essa daqui é simples, eles estariam um pouco mais afastados. E essa aqui ficaria mais rígida do que essa. Porque na verdade ela vai ser uma cadeia aberta. Então ela vai ser mais extensa, mais maleável. E aqueles ali vão estar mais resistentes do que o outro*”.

Uma habilidade essencial relacionada a visualizações (estabelecer relações entre os comportamentos da visualização e os do fenômeno ou da entidade em estudo, H10) foi manifestada em vários momentos nos quais foi necessário criar argumentos que interligassem o comportamento dos materiais com a visualização e os consequentes modelos elaborados pelos estudantes. Isto ocorreu em todas as etapas do processo. Por exemplo, os estudantes estabelecerem uma relação entre o comportamento da visualização (a estrutura da macromolécula – sendo ramificada ou não, o que acarretaria a existência de quantidades diferentes de interações) com as observações do fenômeno (característica de fundir ou não dos materiais). Eles chegaram a essa relação quando discutiam com a professora sobre a força necessária para romper ligações e interações. Nessa discussão, ela perguntou se haveria uma diferença expressiva de energia para romper as interações intermoleculares que pudesse justificar as diferenças observadas. Os estudantes responderam que “*seria a quantidade de interações*” e explicaram “*só vai ter menos quantidade, não quer dizer que vai ser diferente (...) o carbono e o hidrogênio vão continuar os mesmos, só a quantidade que tem em cada que vai ser diferente*”.

Identificar as limitações da visualização em relação ao comportamento do fenômeno ou da entidade em estudo ou aos modos de representação escolhidos (H11) foi identificada em momentos nos quais os modelos propostos pelos estudantes eram testados por meio de evidências experimentais, ou após a professora questionar aspectos da ideia de que estavam incoerentes com conhecimentos científicos. Nestes momentos, os estudantes percebiam as limitações dos modelos e os reformulavam. Isto aconteceu quando os estudantes identificaram limitações quando perceberam que seu modelo não explicava o comportamento da carcaça diante do aquecimento porque ele só considerava como a macromolécula estava no espaço (suas ligações e forma da cadeia) e não relacionava isso com o fato de que uma estrutura iria fundir com o aquecimento e a outra não (o que depende das interações intermoleculares). Em um dos momentos de discussão, isto ficou claro: “*Como vamos explicar interação com o nosso (modelo) se não representamos interações e sim ligações?*”

Outra habilidade manifestada em todas as etapas do processo foi H12 (relacionar alguns dos três níveis de representação de um mesmo fenômeno ou entidade à visualização elaborada). Isto foi identificado sempre que os estudantes analisavam algum aspecto do comportamento dos materiais e/ou a coerência de seus modelos para explicá-los, por exemplo, quando eles relacionaram o nível macroscópico (comportamento dos materiais durante o aquecimento) com o nível submicroscópico (quantidade de interações entre macromoléculas) que eles visualizaram para subsidiar seu modelo.

Durante a socialização do modelo para a turma, o grupo utilizou o fato de uma cadeia ramificada ter mais espaço entre as macromoléculas ter como consequência menos interações e, assim, o material fundir com o aquecimento (sacola). Por sua vez, para evidenciar a cadeia linear, eles explicaram que o espaço entre as macromoléculas seria pequeno, tendo mais interações, o que resultaria em a carcaça não fundir. O grupo começou argumentando que: “*a gente pensou que a sacolinha, por ser ramificada, as interações seriam mais fracas. Quando você coloca fogo, elas vão se agitar e vão ficar mais distantes do que as outras. Sendo assim, quando ela foi resfriada, ficou um pouco mais esticada, mas não se rompeu. Ficou resistente, mas maleável. E na carcaça de TV a gente acredita que, por ser linear, ela é mais resistente. Sendo assim, quando aquecida, ela não vai ter nenhuma alteração*”. A professora perguntou se eles conseguiram mostrar aquela ideia no desenho do modelo, ao que eles responderam “*quando desenhamos uma cadeia em cima da outra linear, que dizer o que? Que as interações são mais próximas, porque*

são muitas... uma macromolécula é imensa. Vamos supor que têm três, uma interagindo com a outra, todas lineares. Você não tem muito espaço entre elas, então elas são muito agrupadas. Na ramificada, quando você desenha várias, uma em cima da outra, você percebe que tem mais espaço, então, ela será muito mais frágil." Assim, ao manifestarem H13 (convencer outros da validade da visualização), os estudantes não só tentaram explicar suas ideias claramente, enfatizando os elementos que eles viam como "lógicos", como destacaram que o que haviam imaginado poderia ser percebido no modelo bidimensional. Em vários momentos, a expressão das ideias principais de suas visualizações em diferentes modos de representação e a articulação clara entre elas foi essencial na tentativa de convencer os colegas de que suas ideias e a maneira como elas foram expressas em seus modelos conseguiam explicar os comportamentos dos materiais.

Finalmente, em vários momentos do processo, identificamos que os estudantes associaram elementos de diferentes modos de representação para melhor expressar o que haviam imaginado e, consequentemente, evidenciar a validade de seus modelos, isto é, manifestaram H14 (integrar diferentes modos de representação na comunicação da visualização). Por exemplo, durante a socialização do modelo referente ao comportamento da sacola e da carcaça de TV durante o aquecimento, os estudantes desenharam cadeias carbônicas ramificadas e normais interagindo entre si para mostrar o espaço gerado entre as macromoléculas e seu relacionamento com o comportamento frente ao aquecimento. Esse processo foi permeado pela fala e gestos que visavam explicar como as interações ocorriam. O fato da integração entre os modos de representação ter sido tão nítida – e claramente proposital – nos motivou a destacar esta habilidade independente de seu propósito no processo de modelagem.

Reunindo vários dos aspectos destacados nos parágrafos anteriores referentes aos momentos em que as diferentes habilidades foram manifestadas, constatamos que, conforme previsto teoricamente por Gilbert e Justi (2016), existem algumas relações entre os momentos em que habilidades de visualização são manifestadas e as etapas da modelagem vivenciadas pelos estudantes naqueles momentos. A partir dos dados empíricos analisados neste estudo, identificamos que:

- Todas as habilidades foram manifestadas em momentos nos quais os estudantes criaram visualizações (a partir das quais seus modelos foram elaborados ou modelos anteriores foram testados e/ou reformulados).
- Todas as habilidades diretamente relacionadas com modos de representação (H3, H6, H7, H11 e H12) foram manifestadas, na maior parte das vezes de

forma integrada, em todas as diferentes etapas do processo em que o que era visualizado pelos estudantes precisava ser comunicado.

- Com exceção de H7, H13 e H14, diretamente relacionadas à materialização da visualização ou à comunicação de um modelo elaborado, todas as demais permearam momentos em que ideias que fundamentavam as visualizações dos estudantes estiveram envolvidas em testes de seu modelo.
- Nos momentos em que o modelo elaborado para explicar os comportamentos dos materiais iniciais (sacola e carcaça de TV) foram avaliados em outro contexto (o de explicar o comportamento de outro material, o pneu), observamos novamente a manifestação de todas as habilidades listadas. Entendemos que isto aconteceu devido à dinâmica do processo de modelagem e à natureza da etapa de avaliação de um modelo (uma vez que, ao inserir um contexto diferente, internamente o indivíduo integra todas as etapas visando analisar a validade e a abrangência de seu modelo).

Neste artigo, em função da natureza das questões de pesquisa que o orientam, optamos por apresentar apenas um exemplo da manifestação de cada habilidade. Entretanto, computando a frequência de manifestação de cada habilidade, identificamos que H6 e H12 foram manifestadas em um maior número de momentos. A nosso ver, isto se justifica em função da natureza de visualizações: entidades criadas na mente de indivíduos, mas que necessariamente precisam ser materializadas a fim de serem discutidas e de poderem dar suporte a explicações de determinado fenômeno ou determinada entidade.

Conclusões e Implicações

Os resultados apresentados e discutidos na seção anterior evidenciam que habilidades de visualização permearam todo o processo vivenciado pelo grupo de estudantes ao participarem de atividades de modelagem sobre um tema químico (cujas explicações envolvem entidades abstratas e relações entre elas, somente possíveis de serem estabelecidas – pelo menos inicialmente – a partir de visualizações). Nesse sentido, nossos resultados corroboram tal aspecto, já destacado em outros estudos conduzidos com estudantes em contextos de ensino de Química (por exemplo, Chang, Quintana, & Krajcik, 2014; Cheng, 2018; Chiu et al, 2019; Maia & Justi, 2009; Wu, & Shah, 2004). Ao mesmo tempo, nossos resultados indicam que as dimensões de visualização propostas por Hegarty e

Waller (2005) – visualização espacial e orientação espacial – são essenciais para que estudantes incrementem suas cognições espaciais, assim como aprendam e expressem suas ideias em contextos que envolvem conhecimentos químicos. Tal aspecto foi evidenciado quando os estudantes do grupo investigado integraram diversos modos de representação para comunicar, justificar e defender seus modelos (ações nas quais H8, H9, H10, H12, H13 e H14 foram claramente manifestadas).

A manifestação de todas as habilidades de visualização durante a vivência do processo de modelagem se justifica também pela natureza inherentemente dinâmica das etapas deste processo. Isto decorre do fato de os processos cognitivos envolvidos na modelagem (realização de experimentos mentais, argumentação (interna e externa), criação de representações imagísticas e uso de raciocínio analógico (Gilbert, & Justi, 2016)) terem, intrinsecamente, natureza mental – o que justifica a caracterização de modelos como instrumentos de pensamento (Knuuttila, 2005).

A tabela 1 apresenta a síntese da proposição teórica das habilidades de visualização que poderiam permear a vivência de processos de modelagem. Como informamos anteriormente, durante o intenso processo de análise dos dados, propusemos modificações de duas naturezas neste referencial: inclusão de habilidades não previstas teoricamente, mas manifestadas pelos estudantes (H9 e H14), e modificação da redação da caracterização de algumas habilidades de forma a torná-la mais compreensível e descritiva do que realmente foi manifestado por eles (H5, H8, H11 e H12).

Analisando a manifestação das diversas habilidades de visualização durante a vivência das etapas da modelagem, identificamos algumas relações coerentes com a própria natureza das habilidades e das etapas (como apresentado na seção anterior). Entretanto, o mais significativo foi constatar que tais relações vão além do previsto originalmente na literatura (Gilbert, & Justi, 2016), uma vez que o estudo empírico destacou claramente a dinâmica da vivência do processo e a consequente impossibilidade de associar determinadas habilidades apenas a etapas específicas da modelagem. Em outras palavras, este estudo mostrou limitações no modelo proposto para tais relações, o que, como na ciência, é uma etapa essencial na construção de conhecimentos.

A partir deste estudo, somos convictos de que compreender melhor como estudantes manifestam habilidades relacionadas ao pensamento científico, como as habilidades de visualização, é um dos caminhos para ampliar possibilidades de

promover a alfabetização científica em aulas de Ciências (Norris, & Phillips, 2003; Osborne, 2023) cujo percurso é consonante com a educação científica do século XXI (Osborne, 2023). Esta é uma contribuição importante deste estudo na medida em que as modificações que propusemos na lista das habilidades (tabela 3) decorreram da necessidade de considerar o que efetivamente acontece em contextos regulares de ensino – aspecto essencial para que tal temática seja melhor compreendida por professores e futuros professores de Química interessados em favorecer vivências de processos cognitivo-epistêmicos da ciência a seus estudantes. Contribuindo especificamente para que estudantes (i) expressem da maneira mais completa possível suas visualizações (o que tende a ocorrer quando diferentes modos de representação são usados de forma integrada, isto é, quando eles manifestam H14); e (ii) identifiquem as entidades que as constituem e discutam seus significados e o das relações entre elas (isto é, manifestem H9), professores podem efetivamente compreender como os estudantes estão construindo seus conhecimentos e mediar discussões que favoreçam a melhoria de aspectos da alfabetização científica deles. Isto nos parece essencial no sentido de incrementar a efetividade do ensino de Ciências em nosso país, contribuindo para que estudantes (e professores) abandonem a ideia de somente aprender conteúdos e busquem cada vez mais desenvolver seus raciocínios à luz de variados modos de pensar cientificamente, aplicá-los ao pensar tanto sobre temas cotidianos quanto sobre inovações tecnológicas, e comprehendam de forma holística o significado e o papel das Ciências no mundo contemporâneo.

Referências

- Bicalho, H., Oliveira, L., & Justi, R. (2022). Processos de Produção de Representações Vivenciados por Estudantes em Contextos de Ensino Fundamentado em Modelagem. *Impacto: Revista de Pesquisa em Ensino de Ciências*, 1, e65299. <https://doi.org/10.12957/impacto.2022.65299>
- Bodner, G. M.; Domin, D. (2000). Mental models: The role of representations in problem solving in chemistry. *University Chemistry Education*, 4(1), 24-30.
- Brasil. (2018). Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular – BNCC*. Brasília.

Chang, H. Y., Quintana, C., & Krajcik, J. (2014). Using drawing technology to assess students' visualizations of chemical reaction processes. *Journal of Science Education and Technology*, 23(3), 355–369. <https://doi.org/10.1007/s10956-013-9468-2>

Cheng, M. M. (2018). Students' visualisation of chemical reactions—insights into the particle model and the atomic model. *Chemistry Education Research and Practice*, 19(1), 227-239. <https://doi.org/10.1039/C6RP00235H>

Cheng, M. M., & Gilbert, J. K. (2017). Modelling students' visualisation of chemical reaction. *International Journal of Science Education*, 39(9), 1173-1193. <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1319989>

Chiu, M., Chou, C., Chen, Y., Hung, T., Tang, W., Hsu, J., Liaw, H., & Tsai, M. (2019). Model-based learning about structures and properties of chemical elements and compounds via the use of augmented realities. *Chemistry Teacher International*. 1(1), 20180002. <https://doi.org/10.1515/cti-2018-0002>

Deconto, D. C. S., & Ostermann, F. (2021). Treinar professores para aplicar a BNCC: as novas diretrizes e seu projeto mercadológico para a formação docente. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 38(3), 1730-1761. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2021.e84149>

Erickson, F. (2012). Qualitative Research Methods for Science Education. In: B. Fraser, K. Tobin, & C. J. McRobbie (Eds.). *Second International Handbook of Science Education* (pp. 1451-1469). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_93

Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Rutherford, M. (1998). Models in explanations, Part I: Horses for courses?. *International Journal of Science Education*, 20(1), 83–97. <https://doi.org/10.1080/0950069980200106>

Gilbert, J. K., & Justi, R. (2016). Modelling-Based Teaching in Science Education. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29039-3>

Hegarty, M., & Waller, D. (2005). Individual differences in spatial abilities. In P. Shah, & A. Miyake (Eds.), *The Cambridge handbook of visuospatial thinking* (pp. 121–169). Cambridge University Press.

<https://doi.org/10.1017/CBO9780511610448.005>

Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701-705. <https://doi.org/10.1021/ed070p701>

Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 24(2), 173-184.

Justi, R., Gilbert, J. K., & Ferreira, P. F. M. (2009). The application of a 'model of modelling' to illustrate the importance of metavisualisation in respect of the three types of representation. In J. K. Gilbert, & D. Treagust. (Eds.), *Multiple Representations in Chemical Education*. (pp. 285-307). Springer.

https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8_13

Kokkonen, T. (2017). Models as Relational Categories. *Science & Education*, 26(7-9), 777-798. <https://doi.org/10.1007/s11191-017-9928-9>

Lazenby, K., Stricker, A., Brandriet, A., Rupp, C. A., Mauger-Sonnek, K., & Becker, N. M. (2020). Mapping undergraduate chemistry students' epistemic ideas about models and modeling. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(5), 794-824. <https://doi.org/10.1002/tea.21614>

Knuuttila, T. (2005). *Models as Epistemic Artefacts: Toward a non-representationalist account of scientific representation*. Edita Prima.

Maia, P. F., & Justi, R. (2009). Learning of Chemical Equilibrium through Modelling- Based Teaching. *International Journal of Science Education*, 31(5), 603-630. <https://doi.org/10.1080/09500690802538045>

Nersessian, N. J. (2008). Mental Modeling in Conceptual Change. In S. Vosniadou, S. (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change*. (pp. 391-416). Routledge.

Norris, S. P., & Phillips, L. (2003). How literacy in its fundamental sense is central to scientific literacy. *Science Education*, 87, 224–240.

<https://doi.org/10.1002/sce.10066>

Osborne, J. (2023). Science, scientific literacy, and science education. In N. G. Lederman, D. L. Zeidler, & J. S. Lederman. (Eds), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 785-816). Routledge.

Prins, G. T., Bulte, A. M. W., Pilot, A. (2011). Evaluation of a design principle for fostering students' epistemological views on models and modelling using authentic practices as contexts for learning in chemistry education. *International Journal of Science Education*, 33(11), 1539-1569.

<https://doi.org/10.1080/09500693.2010.519405>

Saldaña, J. (2015). *The Coding Manual for Qualitative Researchers*. Sage.

Schwartz, R. S. (2019) Modeling Competence in the Light of Nature of Science. In A. Upmeier zu Belzen, D. Krüger, J. van Driel, (Eds.), *Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education*. (pp. 59-77). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30255-9_4

Thomas, N. J. T. (2014). Mental imagery. In E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford encyclopedia of philosophy* (Fall 2014 ed.). Stanford University.
<http://plato.stanford.edu/archives/fall2014/entries/mental-imagery/>.

Upmeier zu Belzen, A., van Driel, J., & Krüger, D. Introducing a Framework for Modeling Competence. In A. Upmeier zu Belzen, D. Krüger, J. van Driel, (Eds.), *Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education*. (pp. 3-19). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30255-9_1

van Joolingen, W. R., Schouten, J., & Leenaars, F. (2019). Drawing-based modeling in teaching elementary biology as a diagnostic tool. In A. Upmeier Zu Belzen, D. Krüger, J. van Driel, (Eds.), *Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education*. (pp. 131-145). Springer.

https://doi.org/10.1007/978-3-030-30255-9_8

Wertsch (1985). *Vygotsky and the social formation of mind*. Harvard University Press.

Wu, H. K., & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, 88(3), 465-492. <https://doi.org/10.1002/sce.10126>

Zohar, A. (2004). *Higher order thinking in science classrooms: Students' learning and teachers' professional development*. Kluwer.

Notas

TÍTULO DA OBRA

Habilidades de visualização de estudantes em contexto de Educação Científica Fundamentada em Modelagem

Leandro Oliveira

Doutor

Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, Campinas, Brasil
leandroo@unicamp.br

 <https://orcid.org/0000-0002-5597-3438>

É licenciado em Química, mestre e doutor em Educação e Ciências pela Universidade Federal de Minas Gerais. É professor da área de Educação Química no Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas. Foi professor efetivo de escolas estaduais em Minas Gerais e professor substituto na Universidade Federal de Viçosa, campus Florestal e na Universidade Federal de Santa Catarina. Seus temas de interesse incluem mediação em sala de aula, educação científica fundamentada em modelagem, conhecimentos docentes e formação de professores, multimodalidade na educação.

Helen Bicalho

Mestre, Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação, Belo Horizonte, Brasil

helen.cristiane.14@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-9546-7751>

É graduada em Química Licenciatura pela Universidade Federal de Minas Gerais e mestre em Educação pela mesma universidade. Durante a graduação, participou como bolsista do programa Residência Pedagógica e realizou Iniciação Científica

participando do projeto “Contribuições do Ensino Fundamentado em Modelagem para a Aprendizagem Sobre Ciências, o Desenvolvimento do Raciocínio Argumentativo de Estudantes e o Desenvolvimento de Conhecimentos e Habilidades Docentes”. Atualmente atua como professora de Química em uma escola estadual. Seus temas de interesse incluem conhecimentos de professores, argumentação, educação científica fundamentada em modelagem.

Rosária Justi

Doutora, Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Química, Belo Horizonte, Brasil
rjusti@ufmg.br

 <https://orcid.org/0000-0001-6535-5046>

É licenciada e bacharel em Química pela UFMG, mestre em Educação pela Universidade Estadual de Campinas, doutora em Educação em Ciências pela Universidade de Reading, no Reino Unido e já desenvolveu projetos de pós-doutorado na Universidade de Leiden, na Holanda, e na Universidade de Bristol, no Reino Unido. É professora titular aposentada da Universidade Federal de Minas Gerais, pesquisadora 1-C do CNPq, e líder do Grupo de Pesquisa REAGIR: Modelagem e Educação em Ciências. Seus temas de interesse incluem educação científica fundamentada em modelagem, natureza da ciência, introdução de história e filosofia da ciência no ensino, conhecimentos docentes e formação de professores.

Endereço de correspondência do principal autor

Instituto de Química. R. Monteiro Lobato, 270 Bloco I; Lab. I-114; Sala I-116, Cidade Universitária, Campinas, São Paulo, Brasil, 13083-862.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e à Pró-Reitoria de Pesquisa Unicamp (Fundo de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão – FAEPEX) pelos apoios financeiros individuais e coletivo que possibilitaram a realização deste estudo e favoreceram nossa dedicação a ele.

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

Os papéis descrevem a contribuição específica de cada colaborador para a produção acadêmica inserir os dados dos autores conforme exemplo, excluindo o que não for aplicável. Iniciais dos primeiros nomes acrescidas com o último Sobrenome, conforme exemplo.

Concepção e elaboração do manuscrito: L. Oliveira, H. Bicalho, R. Justi

Coleta de dados: H. Bicalho

Análise de dados: L. Oliveira, H. Bicalho, R. Justi

Discussão dos resultados: L. Oliveira, H. Bicalho, R. Justi

Revisão e aprovação: L. Oliveira, R. Justi

CONJUNTO DE DADOS DE PESQUISA

Todo o conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo foi publicado no próprio artigo.

FINANCIAMENTO

Bolsista do CNPq - Brasil (nº dos processos: 142347/2019-1, 310180/2020-1 e 408057/2018-1)

CONSENTIMENTO DE USO DE IMAGEM

Não se aplica.

APROVAÇÃO DE COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

CAAE: 66805717.8.0000.5149.

CONFLITO DE INTERESSES

Não se aplica.

LICENÇA DE USO

Os autores cedem à revista **Alexandria** os direitos exclusivos de primeira publicação, com o trabalho simultaneamente licenciado sob a [Licença Creative Commons Attribution](#) (CC BY) 4.0 International. Esta licença permite que terceiros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho publicado, atribuindo o devido crédito de autoria e publicação inicial neste periódico. Os autores têm autorização para assumir contratos adicionais separadamente, para distribuição não exclusiva da versão do trabalho publicada neste periódico (ex.: publicar em repositório institucional, em site pessoal, publicar uma tradução, ou como capítulo de livro), com reconhecimento de autoria e publicação inicial neste periódico.

PUBLISHER

Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. Publicação no [Portal de Periódicos UFSC](#). As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

HISTÓRICO

Recebido em: 30-08-2024 – Aprovado em: 27-02-2025 – Publicado em: 24-05-2025